

监测与评价

桃林铅锌矿尾砂库资源化综合利用评价

周蕾¹,余姝辰²,刘慧林¹,贺秋华¹

(1. 湖南省地质环境监测总站,湖南长沙 410007;

2. 湖南省国土资源规划院,湖南长沙 410007)

摘要:为了掌握桃林铅锌矿尾砂库资源化综合利用状况,首先通过遥感解译,基于尾砂库筑建前与闭库后 DEM 数据查明了尾砂库的基本情况;其次,按照市场价格进行了潜在经济评价;最后,根据矿业遗迹与周边的自然、人文景观特点,进行了矿山公园评价。桃矿尾砂库的地表占地面积为 2 214 726 m²,库容 3 321.62×10⁴ m³,尾砂堆存量 5082.08×10⁴ t。尾砂中有用金属镓的含量为 12.34 g/t,储量 627.13 t,潜在经济价值约 4.54 亿元;有用矿物萤石的平均含量为 5.46%,储量 277.48×10⁴t,潜在经济价值约 68.05 亿元。评价结果表明,桃林铅锌矿具备申报国家矿山公园的基本条件与相关要求。

关键词:铅锌矿;尾砂库;有用组分;综合利用;矿山公园。

中图分类号:X705

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)06-0053-05

COMPREHENSIVE UTILIZATION OF THE TAILING BANK OF TAOLIN LEAD-ZINC MINE

ZHOU Lei¹, YU Shu-chen², LIU Hui-lin¹, HE Qiu-hua¹

(1. Hunan Province Geological Environmental Monitoring Station, Changsha 410007, China;

2. Hunan Province Land Resources and Planning Bureau, Changsha 410007, China)

Abstract: In order to evaluate the utilization status of the tailing bank of Taolin lead-zinc mine, the basic situation was analyzed by remote sensing interpretation and DEM data (before and after construction of the tailing bank). Then the potential commercial value of the tailing bank was assessed according to the market price. In the end, the mine park was evaluated based on the mining relics, surrounding natural landscape and human landscape. The research indicates that the area of Taolin lead-zinc mine is 2 214 726m², the storage capacity is 3 321.62×10⁴m³, and the tailing pile stock is 5082.08×10⁴t. Among the tailings, the useful Gallium's contents is 12.34g/t and its reserves is 627.13t, which values about 454 million RMB. The average content of useful fluorite mineral is 5.46% and the reserves is 277.48×10⁴t, which values about 68050 million RMB. Thus, the Taolin lead-zinc mine satisfies the basic conditions and relative requirements of declaring a National Mine Park.

Key words: Lead-zinc mine; Tailing bank, Useful components; Comprehensive utilization; Mine park.

铅锌矿产资源是我国的优势矿种,已查明资源储量 26345.66×10⁴t^[1],其中铅和锌的金属储量分列世界第 2、3 位^[2]。湖南素称“有色金属之乡”,铅锌矿产资源相对丰富,资源储量为 1845.89×10⁴t^[3],

约占全国的 7%。尤其是近年查明的花垣大脑坡铅锌矿,其资源储量达 470×10⁴t^[4]。铅锌矿的采选往往会形成大量尾矿。目前,我国铅锌选矿厂尾矿产率超过 70%,年均排放量在 1 000×10⁴t 以上^[5],累积堆存量达 1.6-2×10⁸t^[6]。据遥感调查,目前湖南

共有尾矿库 1 570 处,其中铅锌矿尾矿库 536 处,仅花垣县便有 70 处^[7]。

尾矿库具有二次资源特征,前人开展过大量的综合利用研究。如阎赞等^[8]从铅锌尾矿的再选技术、生产建筑材料、尾矿充填以及尾矿区复垦等方面对我国铅锌尾矿的资源化综合利用进行了探讨;易龙生等^[9]在评述铅锌尾矿各利用途径的优势、缺陷的基础上,提出了一种利用铅锌尾矿制备免烧陶粒的新思路;叶力佳^[10]在研究尾矿工艺矿物学的基础上,提出了综合回收尾矿中硫、铁的选矿工艺方案;王钦建等^[11]从铅锌尾矿有价资源再选、建筑材料应用与采空区回填等方面,介绍了国内对铅锌尾矿的综合利用现状;刘侦德等^[12]研究认为,广东凡口铅锌矿尾矿库堆存尾矿用于硫精矿回收和充填骨料,其潜在价值达 10 亿以上。但是,我国的铅锌尾矿综合利用仍然停留在理论或方法研究上,实际应用仅为 18.9% 左右,与国外 60% 的综合利用率相差甚远^[8],且主要用于充填、开采和建材。如广东省 14 个具有代表性的铅锌尾矿库,目前只有 1 个铅锌尾矿库开展了尾矿综合回收利用^[13]。

尾矿库不仅占用土地,破坏植被,造成水土流失和扬尘,且由于铅锌尾矿中硫含量较高,导致矿山尾矿酸化,随着酸化而发生的一系列重金属离子溶出等反应,其废水一旦排泄,将造成严重的环境污染事件和安全隐患。因此,采取适宜方法进行桃林铅锌矿尾砂库资源化综合利用评价,摸清其家底,为提高其综合利用能力,加强生态文明建设,实践循环经济具有重要意义。

1 尾砂库概况

桃林铅锌矿(简称桃矿)位于湘东北,江南台背斜中段北缘与扬子台褶带南缘的过渡带,系受冷家溪群层位和岩性组合等条件控制的沉积-热能改造层控型伴生萤石的大型铅锌矿床^[14]。清光绪二十七年(1901 年)宝成公司开始小规模开采,建国后被纳入国家第一个五年计划的 156 项重点工程,1959 年正式投产,1960 年筑建尾砂库。鼎盛时期的八十年代,桃矿采选能力达每年 120×10^4 t。2002 年底,由于原有矿区资源濒临枯竭,后备矿区矿石品位低,开采了超过 100 年的桃矿宣布破产,尾砂坝随即闭库。



图 1 桃林铅锌矿尾砂库卫星影像

2 尾矿特征

2.1 尾砂颗粒组成

桃矿尾砂库不同级别的尾砂粒径测定结果见表 1。

表 1 桃矿尾矿颗粒组成

| 粒径(目) | >20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | 100-120 | 120-140 | 140-200 | <200 |
|-------|------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|------|
| 比例(%) | 2.86 | 20.96 | 32.28 | 12.89 | 7.65 | 5.39 | 3.63 | 7.49 | 6.86 |

桃矿尾砂以细砂为主,粒径大于 200 目(0.074 mm)的颗粒占 93.14%,其中大于 60 目(0.25 mm)者占 56.10%。这种尾砂的扬尘相对较小,在太阳光照射下常常银光闪闪,故桃矿尾砂库又名银沙滩,有“人造沙漠”之称。郭建平,吴甫成等认为这种极具特色的景观,可围绕尾砂库的“砂”进行旅游项目的设计和开发,如滑沙、沙浴、沙滩排球等^[15]。笔者也持这一观点,认为桃矿尾砂库具有旅游资源开发价值。

2.2 尾砂的矿物组成

尾砂主要由石英、方解石、粘土矿物、萤石以及少量闪锌矿、方铅矿组成,所占重量百分比如表 2 所示。

表 2 桃林铅锌矿尾砂的矿物构成

| 矿物名称 | 石英 | 方解石 | 萤石 | 粘土矿物(高岭土、伊利石等) | 闪锌矿 | 方铅矿 |
|-------|-------|-------|------|----------------|------|------|
| 比例(%) | 42.31 | 25.62 | 5.46 | 26.32 | 0.27 | 0.11 |

可以看出,尾砂中 useful 矿物包括萤石、闪锌矿、方铅矿等。其中,萤石含量 2~11%,平均约 5.46%,具有利用价值;而闪锌矿、方铅矿的总和仅占总重量的 0.38%,在当前经济技术条件下,不具备综合利用的价值。

2.3 尾砂中 useful 组分

为评价桃矿尾砂库 useful 组分的资源化综合利用,研究中在尾砂库施工了 2 个钻孔,ZK01 的进尺 25 m,ZK02 的进尺 37 m,总进尺 62 m,以揭示尾砂库中不同深度 useful 组分的含量。

样品的采集以 3 m 岩芯为样长单位,共采集 20 个样品,其中 1 号钻孔采集了 8 个样,2 号钻孔采集了 12 个样。样品分析采用原子吸收光度计、ICP 全谱仪和极谱仪,在湿度 78%、室温 24℃ 的条件下,对 Ga、Pb、Zn、Au 等 useful 元素的含量进行分析,结果见表 3。

表 3 桃矿尾砂主要 useful 组分分析结果

| 样品号 | 采样深度(m) | Ga(g/t) | Pb(%) | Zn(%) | Au(g/t) |
|---------|---------|---------|-------|-------|---------|
| ZK01-1 | 0-3 | 8.87 | 0.086 | 0.20 | 0.10 |
| ZK01-2 | 3-6 | 19.88 | 0.130 | 0.22 | 0.10 |
| ZK01-3 | 6-9 | 7.29 | 0.066 | 0.17 | 0.11 |
| ZK01-4 | 9-12 | 12.00 | 0.074 | 0.10 | 0.10 |
| ZK01-5 | 12-15 | 9.22 | 0.090 | 0.20 | 0.10 |
| ZK01-6 | 15-18 | 12.92 | 0.112 | 0.26 | 0.12 |
| ZK01-7 | 18-21 | 11.84 | 0.098 | 0.21 | 0.16 |
| ZK01-8 | 21-24 | 13.02 | 0.105 | 0.16 | 0.13 |
| ZK02-1 | 0-3 | 10.89 | 0.074 | 0.17 | 0.15 |
| ZK02-2 | 3-6 | 10.54 | 0.093 | 0.15 | 0.13 |
| ZK02-3 | 6-9 | 14.62 | 0.120 | 0.27 | 0.18 |
| ZK02-4 | 9-12 | 12.30 | 0.200 | 0.35 | 0.15 |
| ZK02-5 | 12-15 | 13.34 | 0.084 | 0.13 | 0.09 |
| ZK02-6 | 15-18 | 13.29 | 0.053 | 0.08 | 0.12 |
| ZK02-7 | 18-21 | 12.70 | 0.053 | 0.07 | 0.12 |
| ZK02-8 | 21-24 | 12.62 | 0.086 | 0.19 | 0.11 |
| ZK02-9 | 24-27 | 13.68 | 0.113 | 0.14 | 0.14 |
| ZK02-10 | 27-30 | 11.98 | 0.072 | 0.21 | 0.15 |
| ZK02-11 | 30-33 | 12.29 | 0.129 | 0.17 | 0.11 |
| ZK02-12 | 33-36 | 13.51 | 0.121 | 0.22 | 0.16 |
| 算术平均值 | | 12.34 | 0.098 | 0.18 | 0.13 |

3 尾砂库的综合利用评价

矿尾砂库可从资源化利用、尾矿再选和矿山公园开发等方面进行资源化综合利用,其中尾矿再选主要针对金属镓和非金属矿物萤石。

3.1 资源化利用

图 1 是 2017 年 12 月获取的国产 BJ-2 卫星影像,其空间分辨率为 0.8 m,可准确地勾绘尾砂库的分布与大小。可以看出,闭库后的桃矿尾砂库边界清晰,西部与南部各有一个尾砂坝围限,北部与东部是自然岸线。尾砂库的地表基本无废水覆

盖,主要为裸露的尾砂,局部已覆盖人工草地。根据遥感解译,桃矿尾砂库的地表占地面积为 2 214 726 m²。

利用尾砂库建设之前的 1954 年地形图的等高线数据与闭库后 2016 年的 DEM 数据对比分析,桃矿尾砂库的深度在 0~93 m 之间,据此计算出尾砂库的库容为 3 321.62×10⁴m³。经实测,桃矿尾砂库中尾砂的平均密度为 1.53 kg/m³,亦即其尾砂堆存量为 5082.08×10⁴t。桃矿尾砂库自 1960 年建库,至 2002 年底闭库,共运行 43 年。按此,桃矿每年排出的采选尾砂年均为 118.19×10⁴t/年。

3.2 尾矿再选利用

3.2.1 金属镓的回收

随着科学技术的不断发展,Ga 的用途正在逐渐拓宽。高纯 Ga 与某些金属组成的化合物半导体材料和特殊合金等,是当代通讯、电子计算机、宇宙开发、能源卫生等所需的新技术支撑材料。特别在军工行业得到了重大发展,如热成像仪、大规模集成电路、光纤通讯等^[7]。进入 21 世纪,电子工业,特别是移动通讯、微型电脑等相关工业的高速发展,Ga 的供求关系发生了很大变化。据长江有色金属网提供的镓价格市场行情,目前 99.99% 的 Ga 锭市场价格为 1 000~1 070 元/Kg。

镓的回收可采用高温煅烧浸出或低温酸性浸出^[6],工艺比较成熟,回收率为 70% 左右。

前已述及,桃矿尾砂库的堆存量为 5082.08×10⁴t,金属镓的含量 12.34 g/t,据此计算镓的储量:

$$\text{镓的储量} = 5082.08 \times 10^4 \times 12.34 \text{ g/t} = 627.13 \text{ t}$$

按目前金属镓的市场均价 1 035 元/Kg,以回收率 70%,估算回收镓的潜在经济价值:

$$\text{镓的潜在经济价值} = 627.13 \text{ t} \times 1 000 \times 1035 \text{ 元/Kg} \times 70\% \approx 4.54 \text{ 亿元}$$

3.2.2 非金属矿物萤石的回收

萤石是最重要的含氟工业矿物,被列入《全国矿产资源规划(2016-2020 年)》的"战略性矿产目录"。萤石不但广泛用于冶金、化工、陶瓷、建材以及机械、航空、精密仪器等工业部门,而且是原子能、火箭、宇航等尖端科学和新兴工业的重要高能材料^[8],如制造氢氟酸、人造冰晶石、电冰箱里的冷却剂(氟利昂)、镜头所用光学玻璃的材料、喷气机液体推进剂、导弹喷气燃料推进剂以及生产杀虫剂、防腐剂、防护剂、添加剂、助熔剂和抗氧化剂等。据萤石价格快讯提供的市场行情,目前萤石的

市场价格为 2650~2 800 元/t。

萤石矿是一种自然可浮性良好的矿物,通过添加油酸、羧酸类捕收剂,可使氟化钙得到有效的捕收^[19]。据前人研究,萤石矿精矿浮选指标随浮选粒度的粗细呈现规律性的变化^[20]。当粒度较粗时,萤石的回收率较高,反之亦然。桃矿尾砂库中的萤石粒度主要介于 20 目 (0.84 mm)~60 目 (0.25 mm) 之间,相对较粗,有利于萤石的浮选,回收率可达 90 %。

根据前已计算的桃矿尾砂库的堆存量和测试的萤石含量,计算萤石的储量。

萤石储量=5082.08×10⁴t×5.46 %=277.48×10⁴t

按目前萤石的市场均价 2725 元/t,以回收率 90 %,估算回收萤石的潜在经济价值:

萤石的潜在经济价值=277.48×10⁴t×2725 元/t×90 %≈68.05 亿元

3.3 矿山公园开发利用

矿山公园是以展示矿业遗迹景观为主体,体现矿业发展历史内涵,具备研究价值和教育功能,可供人们游览观赏、科学考察的特定的空间地域^[21]。

桃矿始采于清朝末年,见证了民国、侵华日军、建国初期的民营、国有以及国企改革后的重组等不同历史过程,矿业开发史籍齐全,是我国著名的、独具特色的矿山,曾有“亚太地区最大”的铅锌矿称号。桃矿属于“沉积-热能改造层控型”大型铅锌矿床,其典型的成矿模式曾进入《矿床学》教科书,具有重要的成矿理论研究价值。

目前,桃矿保留有较完整的矿山采场、冶炼场、加工场、工艺作坊、窑址等矿业生产遗址和采掘、提升、通风、照明、排水供水、学校等矿业活动遗迹。桃矿的尾砂库占地 3 322 亩,是我国迄今为止最大的人造沙漠和人工沙滩,有“江南戈壁”和“南方沙漠”之称。

桃矿北西部的龙潭湖,面积 3 500 亩,湖长 4 000 m,湖水清澈,碧波荡漾,湖里鱼翔潭底,湖上浪拍轻舟,远处山峦重叠,云遮雾障,湖光山色,风景宜人。桃矿东部的 6 501 洞穴全长 17 多 km,面积大于 8×10⁴m²,分上、中、下三层,上下相通,洞洞相连,深险莫测,如入迷宫,规模之大让人叹为观止,被誉为“天下第一人工洞窟”、“中国地下长城”。

可见,桃矿充分体现了我国矿业发展的历史内涵,矿业遗迹齐全,具备研究价值和科普功能,

其自然和人文的双重属性,是游览观赏、科学考察的良好场所。

4 结论

本文对桃林铅锌尾砂库的资源化综合利用进行评价,得出如下结论:

1) 桃矿尾砂库的地表占地面积为 2 214 726 m²,库容为 3 321.62×10⁴m³,尾砂堆存量为 5082.08×10⁴t,年均尾砂堆存量为 118.19×10⁴t/年。闭库后的尾砂库地表基本无废水覆盖,主要为裸露的尾砂,局部已覆盖人工草地。桃矿尾砂以细砂为主,扬尘相对较少,可围绕尾砂库的“砂”进行旅游项目的设计和开发。

2) 尾砂中有用矿物包括萤石、闪锌矿、方铅矿以及含金属元素镓的高岭土等。其中,萤石平均含量约 5.46 %,镓的含量为 12.34 g/t,具有利用价值,按目前市场价初步评估,二者的潜在经济价值为 72.59 亿元。铅、锌、金的含量均很低,分别为 0.098 %、0.18 %和 0.13 g/t,在当前经济技术条件下,难以通过再选进行综合利用。

3) 桃矿开发历史悠久,矿业开发史籍齐全,是我国著名的、独具特色的矿山。其典型的成矿模式具有重要研究价值,丰富而完整的矿业遗迹具有较大的保护价值,周边的龙潭湖和 6 501 人工洞穴是游览观赏的良好景观。鉴此,认为桃矿具备申报国家矿山公园的基本条件与相关要求。

参考文献

- [1] 国土资源部. 中国矿产资源报告(2017)[M].北京:地质出版社,2017: 4-5.
- [2] 雷力,周兴龙,等. 我国铅锌矿资源特点及开发利用现状[J]. 矿业快报,2007,461(9): 1-4.
- [3] 赵亚辉,毛昌民,等. 湖南省矿产资源总体规划(2016-2020)[R].长沙:湖南省国土资源厅,2016: 5-6.
- [4] 曾建康等. 湖南省花垣县大脑坡铅锌矿普查[R]. 吉首:湖南省地质矿产勘查开发局四〇五队,2014: 124-1256.
- [5] 万慧茹. 我国典型铅锌选矿企业尾矿产生及综合利用分析[J]. 环境保护与循环经济,2012(9): 40-43.
- [6] Lei C,Yan B,Chen T,et al. Comprehensive utilization of lead-zinc tailings,part 1: Pollution characteristics and resource recovery of sulfur[J].Journal of Environmental Chemical Engineering, 2015,3 (2): 862-869.
- [7] 余德清,刘立,等. 湖南省矿山开发状况遥感监测(2017)[R].长沙:湖南省遥感中心,2017: 152-153.
- [8] 阎赞,王想,等. 尾矿资源化研究在铅锌尾矿中的应用[J]. 矿产综合利用,2017(1): 1-5.

- [9] 易龙生, 何磊, 等. 铅锌尾矿的资源化利用 [J]. 矿产综合利用, 2017(1): 12-15.
- [10] 叶力佳. 某铅锌尾矿资源化利用技术研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2015(3): 27-31
- [11] 王钦建, 石琳, 等. 国内铅锌尾矿综合利用概况[J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(8): 33-37
- [12] 刘侦德, 李蕾, 等. 凡口铅锌矿堆存尾砂资源开发利用调查研究[J]. 采矿技术, 2008, 8(5): 101-103
- [13] 李媛媛, 陈亚刚, 等. 广东省铅锌矿尾矿调查及综合利用潜力评价[J]. 现代矿业, 2017, 578(6): 264-268
- [14] 张九龄, 符策美等. 临湘县桃林铅锌矿床成矿条件及成因的重新探讨[J]. 湖南地质, 1987 (3): 17-25.
- [15] 郭建平, 吴甫成, 等. 湖南临湘铅锌矿尾矿库环境状况及开发利用研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 553-557.
- [16] 王金超. 镓生产工艺及用途[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 553-557.
- [17] 尹书刚, 陈后兴, 等. 镓的资源、用途与分离提取技术研究现状[J]. 四川有色金属, 2006, (2): 24-27.
- [18] 杨津荣. 工业用途萤石化学成分的分析方法探讨 [J]. 科技与生活, 2011(17): 186-187.
- [19] 罗溪梅, 童雄, 等. 萤石浮选药剂的研究状况 [J]. 湿法冶金, 2009, 28(3): 146-153.
- [20] 冷阳, 高惠民, 等. 内蒙古某萤石选矿实验研究[J]. 非金属矿, 2008, 31(4): 21-23.
- [21] 国土资源部. 国家矿山公园申报工作指南. 国土资发[2004] 256号.